第 37 卷第 14 期
2017 年 7 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.14
Jul.,2017

DOI: 10.5846/stxb201604070639

杨柳, 何正军, 赵文吉, 贾国夫, 来利明, 杜会, 姜联合, 周继华, 蔡文涛, 齐淑艳, 郑元润.狭叶红景天幼苗对水分及遮阴的生长及生理生化响应.生态学报,2017,37(14):4706-4714.

Yang L, He Z J, Zhao W J, Jia G F, Lai L M, Du H, Jiang L H, Zhou J H, Cai W T, Qi S Y, Zheng Y R.Growth, physiological, and biochemical responses of *Rhodiola kirilowii* seedlings to water and shading.Acta Ecologica Sinica,2017,37(14):4706-4714.

狭叶红景天幼苗对水分及遮阴的生长及生理生化响应

杨 柳[1,2,3], 何正军[4,5], 赵文吉[4,5], 贾国夫[4,5], 来利明[3], 杜 会[3], 姜联合[3], 周继华[3], 蔡文涛[3], 齐淑艳[1,*], 郑元润[3,*]

1 沈阳大学, 沈阳 110044
2 中国科学院大学, 北京 100049
3 中国科学院植物研究所, 北京 100093
4 四川省草原科学研究院, 成都 611731
5 红原雪山红景天生物制品有限公司, 成都 611731

摘要:研究植物对水分和遮阴胁迫的响应及其生理机制对制定合理的栽培管理措施十分必要。以红景天属植物为研究对象,设置土壤含水量分别为田间持水量的 80%(过湿水分)、70%(正常水分)、60%(轻度干旱)、40%(中度干旱)、20%(重度干旱) 5 个水分梯度;设置 2 个遮阴处理,以全光照(遮阴率为 0)为对照、黑色遮阴网遮阴(遮阴率为 85%),研究狭叶红景天生长及生理生化指标的变化特征。结果表明:在不同水分处理下,与对照相比,叶绿素含量、茎干重和茎重比(SMR)显著增加($P<0.05$),株高、总生物量、叶面积、叶干重、叶重比(LMR)、比叶面积(SLA)、叶面积比(LAR)和叶面积根干重比(LARMR)增加,根冠比和根重比(RMR)减少;随着干旱程度加剧,丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和可溶性糖(Ss)含量增加,超氧化物歧化酶(SOD)活性总体呈先增加后减小的趋势。在遮阴处理下,株高、SMR、SLA、LAR 和 LARMR 显著增加($P<0.05$),叶绿素 SPAD 值和叶面积增加,总生物量、根干重、根冠比和 LMR 显著减少($P<0.05$),茎干重和叶干重减少,MDA 含量显著增加,Pro 含量略有下降,Ss 含量减少。在水分胁迫下,狭叶红景天中度干旱时通过增加酶活性抵御伤害,重度干旱超过其阈值,SOD 活性下降,植物体受到伤害,Ss 可能是主要的渗透调节物质。在遮阴处理下,狭叶红景天通过增加 SLA 避免遮阴伤害。狭叶红景天在受到环境胁迫时会通过形态改变、调节 MDA 含量、抗氧化酶活性和渗透调节物质来保证自身正常的生长发育。

关键词:狭叶红景天;水分;遮阴;生长;生理生化响应

Growth, physiological, and biochemical responses of *Rhodiola kirilowii* seedlings to water and shading

YANG Liu[1,2,3], HE Zhengjun[4,5], ZHAO Wenji[4,5], JIA Guofu[4,5], LAI Liming[3], DU Hui[3], JIANG Lianhe[3], ZHOU Jihua[3], CAI Wentao[3], QI Shuyan[1,*], ZHENG Yuanrun[3,*]

1 *Shengyang University*, *Shengyang* 110044, *China*
2 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*
3 *Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100093, *China*
4 *Sichuan Academy of Grassland Sciences*, *Chengdu* 611731, *China*
5 *Hongyuan Xueshan Hongjingtian Biological Products Co.*, *Ltd.*, *Chengdu* 611731, *China*

Abstract: It is important to study the responses of plants to water and shading stress and the physiological mechanisms responsible for stress tolerance for rational cultivation management. In the present study, the Chinese medicinal herb,

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2014JZ0005);四川省级科研院所科研项目(2015172);国家中医药管理局行业专项(201507002-01)

收稿日期:2016-04-07; **网络出版日期**:2017-03-02

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhengyr@ ibcas.ac.cn;qshuyan@ sina.com

Rhodiola kirilowii, was subjected to five watering and two shading treatments. The watering treatments were applied based on different soil water capacities, i.e., 80% (wet watering), 70% (normal watering), 60% (light drought), 40% (moderate drought), and 20% (severe drought). The shading treatments consisted of full light and shading with 85% black shade netting. Growth, physiological, and biochemical parameters of the treated plants were recorded. Under the different watering treatments, compared with the control, the chlorophyll content, stem dry weight, and stem mass ratio (SMR) increased significantly ($P<0.05$). In addition, plant height, total biomass, leaf area, leaf dry weight, leaf mass ratio (LMR), specific leaf area (SLA), leaf area ratio (LAR), and leaf area:root mass ratio (LARMR) increased, whereas the root:shoot ratio and root mass ratio (RMR) decreased. With increasing water stress, malondialdehyde, proline, and soluble sugar (Ss) contents increased, and superoxide dismutase activity initially increased but subsequently decreased. Under shading treatments, plant height, SMR, SLA, LAR, and LARMR increased significantly ($P<0.05$); chlorophyll SPAD values and leaf area increased, whereas total biomass, root dry weight, root:shoot ratio, and LMR decreased significantly ($P<0.05$), and stem dry weight and leaf dry weight decreased. Malondialdehyde content increased significantly, whereas proline content decreased slightly and Ss content decreased. Under water deficit, *R. kirilowii* showed increased antioxidant enzyme activity under moderate drought stress, but the threshold was exceeded under severe drought stress, when plants suffered stress-induced injury. Soluble sugars may represent the major osmotic adjustment compounds. Under shading stress, *R. kirilowii* increased SLA to compensate for decreased incident light. Thus, *R. kirilowii* altered leaf morphology, MDA content, protective enzyme activity, and osmotic adjustment compounds to ensure normal growth under exposure to environmental stress.

Key Words: *Rhodiola kirilowii*; moisture; shade; growth; physiological and biochemical responses

水分是影响植物生长发育的重要环境因子[1],水分胁迫亦是物种与生态系统面临的最为严峻的挑战之一[2]。植物在受到水分胁迫时,通常会通过一系列形态、生理生化方面的改变对胁迫做出响应[3-5]。相关研究表明,当植物受到干旱胁迫时,株高、叶面积会减少[1];丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、脯氨酸(Pro)和可溶性糖(Ss)渗透调节物质含量增加,以抵御或降低水分胁迫的伤害,保证植物正常的生长发育[6,7]。

光照是影响植物生存及生长的重要环境因子,亦是植物生长的能量来源[8]。植物在受到光照胁迫时,会通过调整形态结构及生物量分配。其中叶的可塑性最大,同时植物的生理代谢及生理指标会发生改变[9]。研究表明:弱光环境下,植物会增大比叶面积(SLA)和地上部生物量[10],丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、脯氨酸(Pro)和可溶性糖(Ss)等物质的含量也会随着遮阴程度的变化而相应改变[11]。

狭叶红景天[*Rhodiola kirilowii* (Regel) Maxim]为景天科多年生草本植物,为名贵藏药,生长在海拔3000—4500m 的高原[12],主含红景天苷、酪醇、β-谷甾醇[13],具有抗缺氧、抗衰老等功效[14],由于红景天属植物具有众多功效,红景天药品和保健品十分畅销[15],使得红景天野生资源十分紧缺。为保护红景天野生资源,避免过度采挖对生态环境的影响,开展红景天人工栽培的研究十分必要。国内外对狭叶红景天的研究多集中在化学成分,药理药效方面[16-18],有关人工栽培方面的研究较少。马令伕等[19]研究了冻害胁迫对狭叶红景天活性成分的影响,高玉朋[20]等人开展了在长白山区引种驯化及培育狭叶红景天的研究。有关水分与遮阴胁迫对狭叶红景天生长及生理生化指标的影响还未见报道,但水分与光照是植物生长的重要影响因子,水分和光照如何影响狭叶红景天的生理生化特性,进而影响其生长?本文通过水分和遮阴控制实验,探讨适宜狭叶红景天生长的水分和遮阴等环境条件,为改善其人工栽培方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省阿坝州红原县四川省草原科学研究院科研基地,研究区域为高原寒温带季风气候,干

湿季节明显,雨热同季;夏季日照长,太阳辐射强烈,气候偏冷,春秋短促,长冬无夏;年平均气温 1.1℃,极端最低气温-33.9℃,极端最高气温 25.6℃,气温日较差平均 16.3℃。1 月为最冷月,平均气温-10.3℃,7 月为最热月,平均气温 10.9℃;年均日照时数 2418h;年均降水量 791.95mm,80%集中在 5—10 月,年均降雪日数 76d 以上[21]。

1.2 试验材料

试验材料为 2 年生与 3 年生狭叶红景天幼苗。

1.3 试验方法

水分试验:采用长势一致的狭叶红景天 3 年生幼苗移栽至口径 30cm 塑料盆中,每盆装土 3kg,每处理 12 盆,每盆 1 株。待红景天幼苗正常生长后,开始不同水分处理,处理前充分浇水,之后使其自然凉干,每天 19:00用土壤水分测试仪测定土壤含水量,达到所需最低土壤水分时开始水分处理,补充水分,使各处理保持设定的土壤水分。共设置 5 个土壤水分处理,分别为过湿水分,为田间持水量的 80% (W1);正常水分(对照),为田间持水量的 70% (W2);轻度干旱,为田间持水量的 60% (W3);中度干旱,为田间持水量的 40% (W4);重度干旱,为田间持水量的 20% (W5)。实验期间将塑料盆放置在玻璃棚内,保证温度、光照等条件一致。

遮阴试验:采用大田实验,单因素试验设计,完全随机排列,3 次重复。大田栽培 2 年生狭叶红景天幼苗开始正常生长后,使用遮阴网进行遮阴处理。设置 2 个遮阴处理:以全光照(遮阴率为 0)为对照(T1);两层 2 针黑色遮阴网(遮阴率为 85%,T2),30d 后对所处理植株进行测定。

本试验于 2015 年 6 月至 8 月生长季进行。

1.4 指标测定

对于水分处理实验,采用文献方法测定植株叶片叶绿素含量[22];对于遮阴实验,使用叶绿素计(SPAD-502 型,Japan)测定植株叶片叶绿素含量[23]。

实验结束后进行测量和收获。在水分实验中,每个处理选取 5 个重复的植株,在遮阴实验中,在每个处理的每个重复中随机选取 5 株植株,测量株高后,摘取叶片,展平置于方格纸上,拍照后用 Photoshop 软件(Adobe Photoshop CS6, USA)处理,计算叶面积。其后将整株植物分为叶片、枝条及根系,用电子天平(精确度为 0.0001g)称量鲜重,随后在 105℃下杀青 15min 后,再在 70℃下烘干至恒重,获得各部分生物量及总生物量干重[24]。

生理指标丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、脯氨酸(Pro)和可溶性糖(Ss)的测定均采用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒进行测定[25]。每次测定随机取样,每个处理 3 个重复。按照试剂盒说明书要求测定,测定方法如下:

丙二醛(MDA) 称取约 0.1g 组织,加入 1mL 提取液($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 和 NaH_2PO_4溶液),冰浴匀浆,离心(4℃,8000r/min,10min)后,取上清液,置冰上待测。取 0.6mL 三氯乙酸(TCA)和硫代巴比妥胺(TBA)溶液,加入 0.2mL 样本混匀,沸水浴 30min 后取出冷却,常温离心(10000r/min,10min),吸取上清液于 532nm 和 600nm 处测定吸光度。

$$\text{MDA 含量(nmol/g 鲜重)} = 25.8 \times \Delta A \div W$$

式中,ΔA=600nm 处吸光值-532nm 处吸光值;W:样本质量(g)。

超氧化物歧化酶(SOD) 称取约 0.1g 组织,加入 1mL 提取液($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 和 NaH_2PO_4溶液),冰浴匀浆,离心(4℃,8000r/min,10min)后,取上清液,置冰上待测。测定管中依次加入 K_2HPO_4、KH_2PO_4、EDTA 溶液 240μL、黄嘌呤 510μL、黄嘌呤氧化酶 6μL、样本 90μL、氮蓝四唑(NBT)溶液 180μL,对照管中 K_2HPO_4、KH_2PO_4、EDTA 溶液 240μL、黄嘌呤 510μL、黄嘌呤氧化酶 6μL、氮蓝四唑(NBT)溶液 180μL、蒸馏水 90μL,混匀,室温静置 30min 后于 560nm 处测定各管吸光值。

$$\text{SOD 活性(U/g 鲜重)} = 11.4 \times \text{抑制百分率} \div (1-\text{抑制百分率}) \div W \times \text{样本稀释倍数}$$

式中,抑制百分率=(对照管吸光值-测定管吸光值)÷对照管吸光值×100%。

脯氨酸(Pro)　称取约 0.1g 组织,加入 1mL 提取液(磺基水杨酸溶液),冰浴匀浆后沸水浴振荡提取 10min,常温离心(10000r/min,10min)后,取上清液,置冰上待测。取 0.5mL 样本+0.5mL 冰乙酸+0.5mL 茚三酮,冰醋酸,浓磷酸溶液置沸水浴中保温 30min(每 10min 振荡一次),待冷却后加入 1mL 甲苯,振荡 30s,静置片刻后吸取 1mL 上层溶液于 520nm 处测定吸光值。

$$\text{Pro 含量}(\mu g/g \text{ 鲜重}) = 19.2\times(520nm \text{ 处吸光值}+0.0021)\div W$$

可溶性糖(Ss)　称取 0.1g 样本,加入 1mL 蒸馏水研磨成匀浆,置沸水浴 10min 冷却后,常温离心(8000r/min,10min)后取上清液于 10mL 试管中,用蒸馏水定容摇匀。在蒽酮中加入 5mL 乙酸乙酯,充分溶解,配成工作液。空白管中加入蒸馏水 400μL、工作液 100μL、浓硫酸 1000μL;测定管中样本 200μL、蒸馏水 200μL、工作液 100μL、浓硫酸 1000μL,混匀置 95℃ 水浴中 10min,冷却至室温后于 620nm 处测定各管吸光值。

$$\text{Ss}(mg/g \text{ 鲜重}) = 0.117\times(\Delta A+0.07)\div W, \text{其中}, \Delta A = \text{测定管吸光值}-\text{空白管吸光值}$$

1.5　数据处理和分析

采用上述数据,计算以下指标:根重比(RMR)= 根干重/总生物量;茎重比(SMR)= 茎干重/总生物量;叶重比(LMR)= 叶干重/总生物量;比叶面积(SLA)= 叶面积/叶干重;叶面积比(LAR)= 叶面积/总生物量;叶面积根干重比(LARMR)= 总叶面积/根干重;根冠比(R/S)= 根干重/地上部分生物量。

采用 SPSS 17. 0 软件进行数据统计,用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)进行多重比较[26],采用 SigmaPlot 10.0 作图。

2　结果

2.1　水分胁迫及遮阴对狭叶红景天叶绿素含量的影响

不同水分处理下,重度干旱下狭叶红景天叶绿素含量显著高于对照,其它差异不显著(图 1A)。对于遮阴处理,与对照相比,叶绿素 SPAD 值差异未达到显著水平(图 1B)。

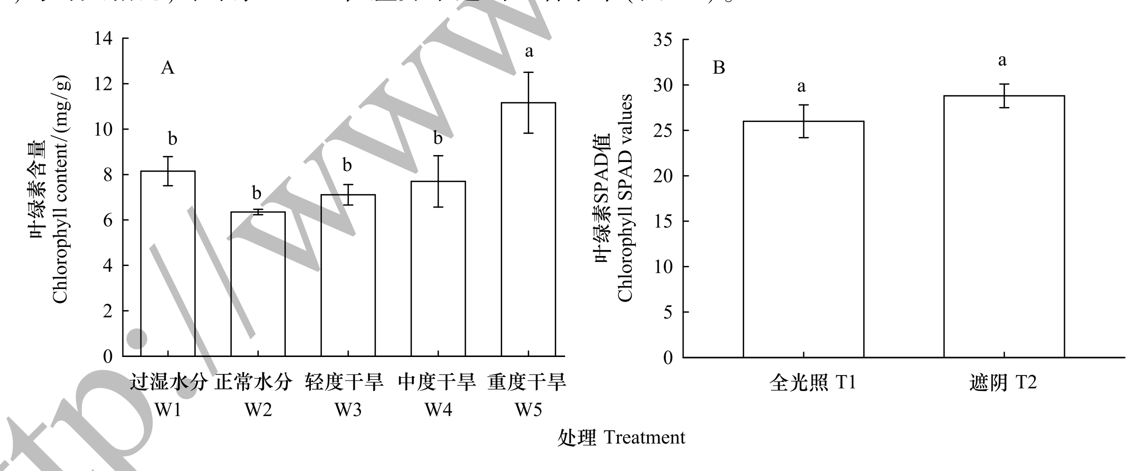


图 1　不同处理对狭叶红景天叶绿素含量的影响

Fig.1　Effects of different treatments on chlorophyll content of *Rhodiola kirilowii*

A:不同水分条件对狭叶红景天叶绿素含量的影响;B:不同遮阴条件对 2 年生幼苗叶绿素含量的影响;图中均为平均值±标准误(mean±SE);不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异

2.2　水分胁迫及遮阴对狭叶红景天生长的影响

由表 1 可见,不同水分处理下,各处理间株高、总生物量、叶面积、根干重、叶干重、LMR、LAR、SLA 和 LARMR 差异均不显著;根冠比在中度干旱、重度干旱与正常水分间差异显著,中度干旱与重度干旱间差异显著,其它处理间无显著差异;茎干重仅正常水分与重度干旱及中度干旱与重度干旱间差异显著;RMR 仅重度干旱与正常水分间差异显著;SMR 仅重度干旱与正常水分间差异显著。

由表 2 可见,对于遮阴处理,与对照相比,株高、SMR、SLA、LAR 和 LARMR 显著增加,总生物量、根冠比、根干重和 LMR 显著减小,叶面积、茎干重、叶干重、RMR 差异不显著。

表 1 不同水分处理对狭叶红景天生长的影响

Table 1 Effect of different water treatments on growth of *Rhodiola kirilowii*

指标 Variables	处理 Treatments				
	过湿水分(W1) Wet watering	正常水分(W2) Normal watering	轻度干旱(W3) Light drought	中度干旱(W4) Moderate drought	重度干旱(W5) Severe drought
株高 Plant height/cm	12.9 ± 1.4a	10.6 ± 1.0a	13.6 ± 1.7a	11.9 ± 2.7a	13.2 ± 1.7a
总生物量 Total biomass/g	2.75 ± 0.51a	2.11 ± 0.29a	2.92 ± 0.12a	2.52 ± 0.44a	2.32 ± 0.44a
叶面积 Leaf area/cm^2	47.89 ± 8.31a	29.33 ± 3.89a	60.33 ± 8.11a	53.94 ± 15.08a	55.41 ± 13.66a
根冠比 Root-shoot ratio	2.94 ± 0.23ab	3.50 ± 0.20a	2.81 ± 0.29ab	2.49 ± 0.40b	1.50 ± 0.08c
根干重 Root dry weight/g	2.4027 ± 0.4641a	1.9010 ± 0.2652a	2.5366 ± 0.1311a	2.1624 ± 0.3599a	1.8839 ± 0.3712a
茎干重 Stem dry weight/g	0.1154 ± 0.0202ab	0.0660 ± 0.0106b	0.1221 ± 0.0185ab	0.1105 ± 0.0242b	0.1855 ± 0.0406a
叶干重 Leaf dry weight/g	0.2277 ± 0.0299a	0.1477 ± 0.0153a	0.2572 ± 0.0252a	0.2474 ± 0.0653a	0.2550 ± 0.0529a
根重比 RMR	0.87 ± 0.009a	0.90 ± 0.007a	0.87 ± 0.015a	0.87 ± 0.018a	0.81 ± 0.013b
茎重比 SMR	0.04 ± 0.004b	0.03 ± 0.002b	0.04 ± 0.006b	0.04 ± 0.005b	0.08 ± 0.004a
叶重比 LMR	0.09 ± 0.006a	0.07 ± 0.007a	0.09 ± 0.009a	0.09 ± 0.014a	0.12 ± 0.017a
比叶面积 SLA/(cm^2/g)	205.01 ± 14.93a	195.17 ± 10.29a	236.39 ± 25.21a	213.53 ± 8.39a	214.59 ± 13.67a
叶面积比 LAR/(cm^2/g)	17.76 ± 1.89a	14.15 ± 1.11a	20.78 ± 2.72a	19.83 ± 3.19a	24.82 ± 3.77a
叶面积根干重比 LARMR/(cm^2/g)	20.50 ± 2.38a	15.85 ± 1.34a	24.06 ± 3.33a	23.24 ± 4.15a	31.11 ± 4.96a

RMR:对应的英文全拼 root mass ratioSMR:对应的英文全拼 stem mass ratioLMR:对应的英文全拼 leaf mass ratio

表 2 不同遮阴处理对狭叶红景天生长的影响

Table 2 Effect of different shading treatments on growth of *Rhodiola kirilowii*

指标 Variables	处理 Treatments		指标 Variables	处理 Treatments	
	全光照(T1) Sun	遮阴(T2) Shading		全光照(T1) Sun	遮阴(T2) Shading
株高 Plant height /cm	7.5±0.4b	10.0±0.6a	总生物量 Total biomass /cm	1.08±0.15a	0.64±0.07b
叶面积 Leaf area/(cm^2)	43.04±6.84a	53.23±8.26a	根冠比 Root-shoot ratio	1.12±0.07a	0.70±0.07b
根干重 Root dry weight/g	0.5412±0.0744a	0.3208±0.0372b	茎干重 Stem dry weight/g	0.0749±0.0115a	0.0604±0.0089a
叶干重 Leaf dry weight/g	0.1275±0.0193a	0.1212±0.1711a	根重比 RMR	0.50±0.00a	0.50±0.00a
茎重比 SMR	0.07±0.006b	0.09±0.007a	叶重比 LMR	0.43±0.006a	0.41±0.007b
比叶面积 SLA/(cm^2/g)	95.89±8.30b	207.12±23.10a	叶面积比 LAR/(cm^2/g)	40.49±3.13b	82.99±8.73a
叶面积根干重比 LARMR(cm^2/g)	80.97±6.26b	165.99±17.45a			

SLA:对应的英文全拼; specific leaf area;LAR:对应的英文全拼;leaf area ratio;LARMR:对应的英文全拼; leaf area; root mass ratio;表中数值均为平均值±标准误(mean±SE);同行中不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异

2.3 水分胁迫及遮阴对狭叶红景天丙二醛含量的影响

由图 2A 可见,丙二醛含量在不同水分条件下除中度干旱外均显著增加,且在重度干旱达到最大值。由图 2B 可见,丙二醛含量遮阴处理下显著高于对照。

2.4 水分胁迫对狭叶红景天超氧化物歧化酶活性的影响

由图 3 可见,在中度干旱条件下,SOD 活性显著高于对照,达到最大值,其它水分条件下 SOD 活性差异不显著。

2.5 水分胁迫及遮阴对狭叶红景天渗透调节物质的影响

由图 4 可见,不同水分或者遮阴处理下脯氨酸含量在各处理间差异不显著(图 4)。

由图 5A 可见,不同水分处理下,轻度干旱和重度干旱处理下可溶性糖显著高于对照,其它差异不显著,在重度干旱下,可溶性糖含量达到最大值。由图 5B 可见,遮阴处理下可溶性糖含量显著下降。

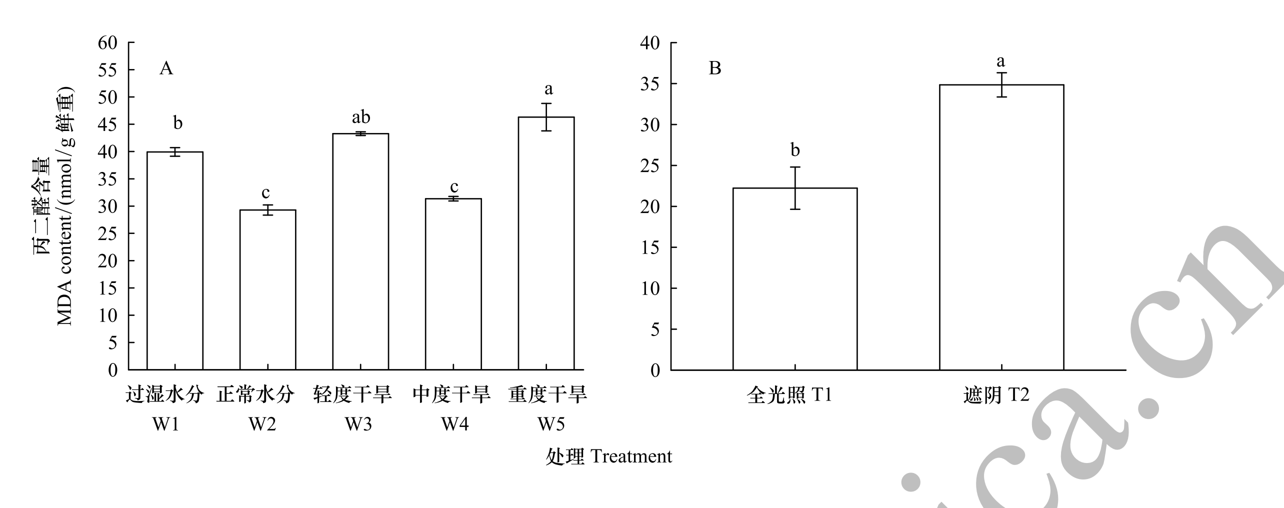


图 2　不同处理对狭叶红景天丙二醛含量的影响

Fig.2　Effects of different treatments on MDA content of *R. kirilowii*

A 不同水分条件对狭叶红景天丙二醛含量的影响;B 不同遮阴条件对 2 年生幼苗丙二醛含量的影响

3　讨论

3.1　水分胁迫及遮阴对狭叶红景天叶绿素含量及生长的影响

光合色素是植物进行光合作用的物质基础,叶绿素含量反应了植株的生长状况和光合能力[27]。研究表明,干旱胁迫会降低植物叶绿素含量[28, 29]。本项研究中,过湿水分和干旱胁迫下叶绿素含量均增加,且随着干旱程度的增加呈上升的趋势,与 Ghaderi 的研究结果一致[4],这可能是干旱胁迫使叶片的相对含水量降低,导致单位鲜重叶片中叶绿素含量升高[1],也可能是狭叶红景天在受到胁迫时维持光合速率的生理机制。遮阴处理下,狭叶红景天幼苗的叶绿素增加,这与大多数植物在低光照下叶绿素的变化趋势相同[30-31]。比叶面积(SLA)是表示叶片厚度的指标,SLA 越小,单位叶面积越小,叶片越厚,是植物避免强光伤害的一种叶形态变化[32]。本研究中,狭叶红景天 SLA 显著增加,表明狭叶红景天遮阴后通过增加单位叶面积,叶片变薄来捕获光能以进行光合作用和自身正常的生长发育。

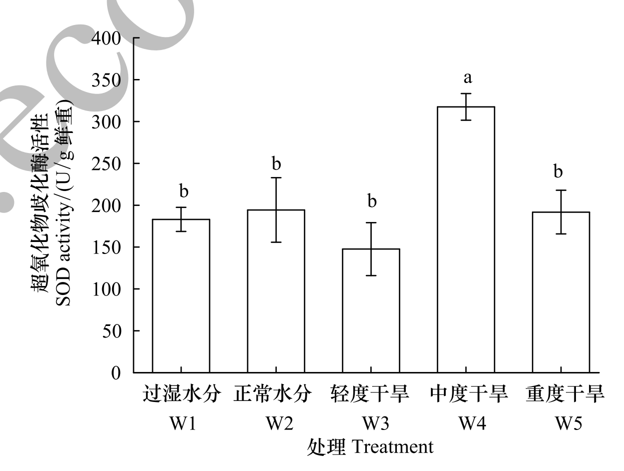


图 3　不同水分处理对狭叶红景天超氧化物歧化酶活性的影响

Fig.3　Effects of different watering treatments on SOD activity of *R. kirilowii*

3.2　水分胁迫及遮阴对狭叶红景天膜脂过氧化作用的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的主要产物[33],其含量的多少反映了植物膜脂过氧化和受胁迫伤害的程度[34],有研究表明,MDA 含量会随着胁迫程度的加剧而增加[29, 35]。本研究中,过湿水分和干旱胁迫,以及遮阴处理后 MDA 含量均显著增加,总体随着胁迫程度的加剧呈增加的趋势,这与范苏鲁等[26]对大丽花和刘峄等[11]对海姆维斯蒂枸子的研究结果一致,说明水分胁迫和遮阴处理下狭叶红景天发生了膜脂过氧化,离子外渗,细胞膜系统在一定程度上受到破坏,在重度干旱下达到最大值,表明此时植株受到伤害最大。

3.3　水分胁迫对狭叶红景天抗氧化酶活性的影响

在正常情况下,植物体内的抗氧化酶系统通常使活性氧维持在动态平衡状态[34],当受到水分胁迫时就会打破植物细胞中的活性氧平衡,活性氧积累,使得植物受到氧化伤害[36],这时作为抗氧化系统第一道防线的

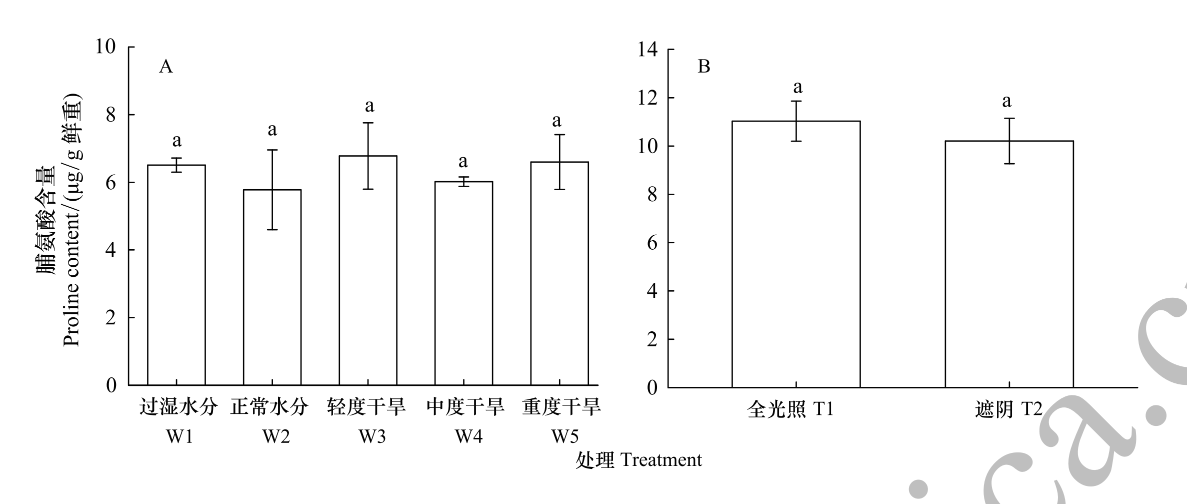


图 4 不同处理对狭叶红景天脯氨酸含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on proline content of *R. kirilowii*

A:不同水分条件对狭叶红景天脯氨酸含量的影响;B:不同遮阴条件对 2 年生幼苗脯氨酸含量的影响

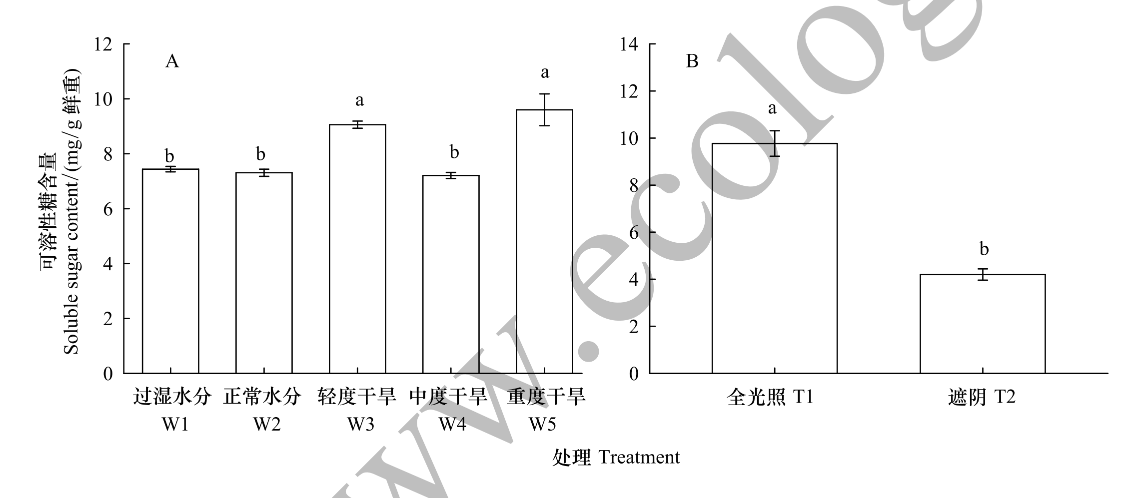


图 5 不同处理对狭叶红景天可溶性糖的影响

Fig.5 Effects of different treatments on soluble sugar content of *R. kirilowii*

A:不同水分条件对狭叶红景天可溶性糖含量的影响;B:不同遮阴条件对 2 年生幼苗可溶性糖含量的影响

超氧化物歧化酶(SOD)[34]会起到清除活性氧的作用[1],因而,SOD 活性能够反映其抗氧化的能力。有研究表明[37-38],在受到胁迫时,SOD 活性会随着胁迫程度的加剧呈上升或先上升后下降的趋势。本研究中,中度干旱下 SOD 活性显著上升,重度干旱下有所下降,这可能表明 SOD 活性存在一个阈值[38],中度干旱下狭叶红景天通过提高 SOD 活性抵御胁迫带来的伤害,而在重度胁迫下超过其承受范围,抗氧化能力下降,这与张刚等[28]对文冠果幼苗的研究结果相似,表明重度干旱已对狭叶红景天造成伤害。

3.4 水分胁迫及遮阴对狭叶红景天渗透调节物质的影响

脯氨酸(Pro)和可溶性糖(Ss)作为重要的渗透调节物质,在植物遭受胁迫时会通过增加或降低其含量来调节植物细胞渗透压[39-40]。有研究表明,水分胁迫下不同植物的渗透调节物质发挥着不同程度的作用,吴芹等[41]对山杏、沙棘和油松的研究表明 Pro 比 Ss 发挥更大的渗透调节作用,而张明锦等[42]对巨能草的研究表明其 Pro 可能不是渗透调节的主要物质,可能是 Ss 等物质。在本试验中,Pro 含量在水分胁迫下均高于对照,但无显著差异,而 Ss 含量总体显著高于对照,这说明对于狭叶红景天来说,Ss 可能是其体内主要的调节物质而非 Pro[42]。遮阴处理下,狭叶红景天幼苗 Pro 含量和 Ss 含量减少,这与唐钢梁等[9]对骆驼刺的研究结果一致,说明遮阴处理的幼苗受到一定程度伤害。

3.5 实验时间的可能影响

本文研究结果表明部分处理下,一些生长指标差异不显著,这可能与本文的实验时间有较大的相关性。由于高原热量不足,植物生长较慢,尽管实验处理梯度较大,但由于实验时间为 1 个月,部分指标的差异可能不足以达到显著差异水平,在应用这一结论时应充分考虑这种影响,也需在将来继续深入研究。

4 结论

水分和遮阴处理会对狭叶红景天生长造成一定影响,在受到胁迫时,狭叶红景天会通过改变形态、调节 MDA 含量、抗氧化酶活性和渗透调节物质来保证自身正常的生长发育。在水分胁迫下,狭叶红景天叶绿素含量随着干旱程度的加剧而增加,MDA 含量呈增加趋势,在重度干旱时达到最大值,SOD 活性总体呈先增加后减小的趋势,中度干旱时通过增加酶活性抵御伤害,重度干旱超过其阈值,SOD 活性下降,植物体受到伤害,Pro 含量和 Ss 含量随着干旱程度的加剧而增加,Ss 可能是主要的渗透调节物质。在遮阴处理下,狭叶红景天叶绿素增加,同时增加 SLA 避免遮阴伤害,MDA 含量显著增加,Pro 含量和 Ss 含量减少。

参考文献(References):

[1] 侯舒婷, 张倩, 刘思岑, 曾丽云, 吴云, 刘光立. 黄金香柳对水分胁迫的生长与生理响应. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2491-2499.

[2] Bartlett M K, Scoffoni C, Sack L. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. Ecology Letters, 2012, 15(5): 393-405.

[3] Haffani S, Mezni M, Slama I, Ksontini M, Chaïbi W. Plant growth, water relations and proline content of three vetch species under water-limited conditions. Grass and Forage Science, 2014, 69(2): 323-333.

[4] Ghaderi N, Siosemardeh A. Response to drought stress of two strawberry cultivars (cv. Kurdistan and Selva). Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2011, 52(1): 6-12.

[5] Silva E N, Ferreira-Silva S L, Viégas R A, Silveira J A G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. Environmental and Experimental Botany, 2010, 69(3): 279-285.

[6] Jia X, Sun C S, Li G Y, Li G B, Chen G L. Effects of progressive drought stress on the physiology, antioxidative enzymes and secondary metabolites of Radix Astragali. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37: 262-262.

[7] 桑子阳, 马履一, 陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响. 西北植物学报, 2011, 31(1): 109-115.

[8] 刘建锋, 杨文娟, 江泽平, 郭泉水, 金江群, 薛亮. 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 2011, 31(20): 5999-6004.

[9] 唐钢梁, 李向义, 林丽莎, 李磊, 鲁建荣. 骆驼刺在不同遮阴下的水分状况变化及其生理响应. 植物生态学报, 2013, 37(4): 354-364.

[10] Semchenko M, Lepik M, Götzenberger L, Zobel K. Positive effect of shade on plant growth: amelioration of stress or active regulation of growth rate?. Journal of Ecology, 2012, 100(2): 459-466.

[11] 刘峄, 张婷, 岳婉婷, 郝欣, 刘慧芹, 骆建霞. 遮阴对海姆维斯蒂枸子叶片生理生化特性的影响. 湖北农业科学, 2014, 53(21): 5184-5186.

[12] 何淑玲, 马令法, 杨敬军, 常毓巍. 外源水杨酸对低温胁迫下狭叶红景天幼苗生理及膜伤害的影响. 北方园艺, 2015, (17): 61-65.

[13] 陈孝雨, 蒋桂华, 王亚云, 邹海奎, 赵芙蓉. 17 种红景天的品质研究与开发现状. 华西药学杂志, 2010, 25(2): 224-228.

[14] 陈海娟, 周晓棉, 贾凌云, 孙启时. 青海产两种不同种红景天的药理作用研究比较. 时珍国医国药, 2010, 21(2): 491-492.

[15] 何淑玲, 杨敬军, 常毓巍. 4 个红景天品种对冻害的响应. 广东农业科学, 2013, 40(24): 74-76.

[16] Yang L M, Hu R, Qi W, Xing P, Fu H Z. Chemical constituents of *Rhodiola kirilowii* Maxim. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences, 2011, 20(2): 154-158.

[17] Zdanowski R, Skopińska-Różewska E, Wasiutyński A, Skopiński P, Siwicki A K, Sobiczewska E, Lewicki S, Buchwald W, Kocik J, Stankiewicz W. The effect of *Rhodiola kirilowii* extracts on tumor-induced angiogenesis in mice. Central European Journal of Immunology, 2012, 37(2): 131-139.

[18] Grech-Baran M, Sykłowska-Baranek K, Pietrosiuk A. Approaches of *Rhodiola kirilowii* and *Rhodiola rosea* field cultivation in Poland and their potential health benefits. Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM, 2015, 22(2): 281-285.

[19] 马令法, 何淑玲. 冻害对不同移栽期 4 种红景天活性成分的影响. 中药材, 2014, 37(7): 1136-1139.

[20] 高玉朋, 姜喜同, 董旭, 江蕾, 张贵友, 董月双. 长白山区引种驯化狭叶红景天育苗技术. 农业开发与装备, 2012, (6): 131-132.

[21] 贾国夫, 何正军, 毛中丽, 李华德, 骆瑞林. 不同氮磷钾配比施肥对大花红景天生长及产量影响的研究. 草业与畜牧, 2008, (7): 5-7.
[22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
[23] 刘福妹, 姜静, 刘桂丰. 施肥对白桦树生长及开花结实的影响. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 116-120, 195-195.
[24] 史树德, 孙亚卿, 魏磊. 植物生理学实验指导. 北京: 中国林业出版社, 2011: 11-11.
[25] Pan L, Zhang X Q, Wang J P, Ma X, Zhou M L, Huang L K, Nie G, Wang P X, Yang Z F, Li J. Transcriptional profiles of drought-related genes in modulating metabolic processes and antioxidant defenses in *Lolium multiflorum*. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 519-519.
[26] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 王晓慧, 丁雪梅, 甄红丽. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651-657.
[27] 苏慧敏, 何丙辉, 蔡兴华, 刘玉民. 水分胁迫对太阳扇扦插苗形态和生理特征的影响. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2185-2190.
[28] 张刚, 魏典典, 邬佳宝, 刘淑明. 干旱胁迫下不同种源文冠果幼苗的生理反应及其抗旱性分析. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 1-7, 50-50.
[29] Yuan X K, Yang Z Q, Li Y X, Liu Q, Han W. Effects of different levels of water stress on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities of greenhouse tomato. Photosynthetica, 2016, 54(1): 28-39.
[30] 孙小玲, 许岳飞, 马鲁沂, 周禾. 植株叶片的光合色素构成对遮阴的响应. 植物生态学报, 2010, 34(8): 989-999.
[31] Chang P T, Hsieh C C, Jiang Y L. Responses of 'Shih Huo Chuan' pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) to different degrees of shading nets. Scientia Horticulturae, 2016, 198: 154-162.
[32] 张云, 夏国华, 马凯, 李根有, 代英超, 严彩霞. 遮阴对堇叶紫金牛光合特性和叶绿素荧光参数的影响. 应用生态学报, 2014, 25(7): 1940-1948.
[33] 王智威, 牟思维, 闫丽丽, 韩清芳, 杨宝平. 水分胁迫对春播玉米苗期生长及其生理生化特性的影响. 西北植物学报, 2013, 33(2): 343-351.
[34] 王娟. 淹水对牡丹生理特性的影响. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3341-3347.
[35] 于金平, 俞珊, 梁有旺, 倪学军, 任全进. NaCl 胁迫对美国白蜡幼苗部分生理指标的影响. 植物资源与环境学报, 2014, 23(1): 110-112.
[36] 王琪, 刘建鑫, 张建军, 于晓南. 水分胁迫对芍药生长和生理生化特性影响的研究. 植物遗传资源学报, 2014, 15(6): 1270-1277.
[37] 应叶青, 郭璟, 魏建芬, 姜琴, 解楠楠. 干旱胁迫对毛竹幼苗生理特性的影响. 生态学杂志, 2011, 30(2): 262-266.
[38] 李春燕, 王进鑫, 薛设. 干旱及复水对侧柏幼苗叶片抗氧化酶活性的影响. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 33-37, 58-58.
[39] 任鹏, 赵宝平, 刘瑞芳, 杜嵘, 王欢, 刘景辉, 王玉芬. 水分胁迫对燕麦穗颖渗透调节和抗氧化能力的影响. 西北植物学报, 2014, 34(10): 2049-2055.
[40] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 林丽莎, 王迎菊. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响. 植物生态学报, 2011, 35(1): 82-90.
[41] 吴芹, 张光灿, 裴斌, 方立东. 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应. 生态学报, 2013, 33(12): 3648-3656.
[42] 张明锦, 胡相伟, 徐睿, 张健, 陈良华. 水分胁迫及施肥对巨能草(*Puelia sinese* Roxb)生理生化特性的影响. 干旱区资源与环境, 2015, 29(9): 97-101.